

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201402015

梁娟, 杨家胜, 叶漪. 温度对七叶一枝花光合特性及皂苷含量的影响 [J]. 广西植物, 2016, 36(3):323-328

LIANG J, YANG JS, YE Y. Effects of temperatures on photosynthetic characteristics and saponins of *Paris polyphylla* [J]. Guihaia, 2016, 36(3):323-328

温度对七叶一枝花光合特性及皂苷含量的影响

梁娟^{1, 2*}, 杨家胜¹, 叶漪¹

(1. 怀化学院 生命科学系, 湖南 怀化 418000; 2. 民族药用植物资源研究与利用湖南省重点实验室, 湖南 怀化 418000)

摘要: 该研究以珍稀濒危药用植物七叶一枝花 (*Paris polyphylla*) 为材料, 利用人工气候箱设置 3 个温度条件, 即低温 (10℃/16℃)、适温 (18℃/24℃)、高温 (26℃/32℃), 采用盆栽法分析了不同温度条件对七叶一枝花光合特性和主要有效成分皂苷含量的影响。结果表明: (1) 适温条件下, 七叶一枝花叶绿素含量、最大光合速率、光饱和点、表观量子效率均高于低温和高温处理, 而光补偿点、暗呼吸速率则低于两者。(2) 适温条件下, 七叶一枝花根茎体内皂苷含量最大, 达到了 4.33%, 低温和高温处理下皂苷含量分别只有适温的 42.26% 和 33.49%, 氨基酸含量同样表现为适温处理下最大。(3) 七叶一枝花有效成分含量与叶片叶绿素含量、光合速率呈显著正相关, 而与呼吸速率呈显著负相关, 说明温度直接影响植株的光合作用、呼吸作用, 进而影响有效成分的积累。温度对七叶一枝花光合特性及有效成分的积累影响显著, 22℃ 左右的平均温度 (18℃/24℃) 是七叶一枝花栽培的适宜温度, 此温度有利于其生长及有效成分的积累, 该研究结果为七叶一枝花人工栽培中温度的科学管理提供了依据。

关键词: 七叶一枝花, 温度, 光合特性, 皂苷含量

中图分类号: Q945.79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)03-0323-06

Effects of temperatures on photosynthetic characteristics and saponins of *Paris polyphylla*

LIANG Juan^{1, 2*}, YANG Jia-Sheng¹, YE Yi¹

(1. Department of Life Sciences, Huaihua University, Huaihua 418000, China; 2. Key Laboratory of Hunan Province of Study and Utilization of Ethnic Medicinal Plant Resources, Huaihua 418000, China)

Abstract: In order to provide scientific basis for temperature management in artificial cultivating, the photosynthetic characteristics and content of main effective constituents of saponin of the rare and endangered medicinal plant *Paris polyphylla* with the treatments of different temperatures were studied by using pot experiment. Three different temperature conditions were controlled by artificial climate boxes, namely low-temperature treatment (10℃/16℃), appropriate-temperature treatment (18℃/24℃), high-temperature treatment (28℃/32℃). The results were as follows: (1) under appropriate temperature treatment, the indexes such as chlorophyll content, maximum net photosynthetic rate, light saturation point, apparent quantum yield were all higher than low and high temperature treatments, while the light compensation point and dark respiration rate were lower than them. (2) The total saponin content in roots of *P. polyphylla* was the highest under appropriate temperature treatment, which reached 4.33%. And the percents of saponin content under low and high temperature treatments were only 42.26% and 33.49% of the content under appropriate

收稿日期: 2014-10-21 修回日期: 2015-01-26

基金项目: 湖南省教育厅项目 (12C0843); 民族药用植物资源研究与利用湖南省重点实验室开放项目 (HHUW2011-64); 湖南省植物学重点学科建设项目 (2011-42) [Supported by the Project of Hunan Education Department (12C0843); Key Laboratory of Open Project of Study and Utilization of Ethnic Medicinal Plant Resources in Hunan Province (HHUW2011-64); Key Subject Construction of Botany of Hunan Province (2011-42)].

作者简介: 梁娟 (1982-), 女, 湖南娄底人, 硕士, 讲师, 主要从事药用植物栽培方面的研究, (E-mail) liangjuan8242@163.com.

* 通讯作者

temperature treatment. The amino acid content was also the highest under appropriate temperature. (3) The effective component content of *Paris polyphylla* was significantly positively correlated with chlorophyll content and photosynthetic rate and negatively correlated with respiration rate, which explained that temperature directly affected photosynthesis and respiration, and then affected the accumulation of effective components. It meant that temperature had significant impacts on photosynthetic characteristics and effective contents accumulation of *P. polyphylla*. The average temperature of 22 °C (18°C/24°C) was conducive to the growth and effective components accumulation and it was the suitable cultivation temperature of *P. polyphylla*.

Key words: *Paris polyphylla*, temperature, photosynthetic characteristics, saponin content

七叶一枝花(*Paris polyphylla*),又名重楼,为百合科重楼属多年生草本植物,生长在山坡林下及灌丛中,喜在凉爽、阴湿的环境中生长。七叶一枝花以根茎入药,是云南白药的主要成分之一,具有败毒抗癌、消肿止痛、免疫调节等作用,在民间主要用于治疗各种痈肿、跌打损伤和蛇虫咬伤等(边洪荣等,2002;张嫚等,2011)。目前已从七叶一枝花体内分离鉴定出了50多种化合物,主要为甾体类、黄酮苷、氨基酸及其他成分,其中甾体皂苷为其主要活性成分,是该植物发挥药理药效的主要次生代谢物,占总化合物的80%以上(边洪荣等,2002)。

七叶一枝花的利用主要以野生为主,由于近年来遭到过度采挖,导致野生资源量逐年减少,人工栽培成为七叶一枝花野生资源保护及可持续开发利用的有效途径(梁娟等,2014)。关于七叶一枝花人工栽培的研究目前并不多,而关于不同环境因子对七叶一枝花生理特性影响的研究更是鲜有报道(田启建等,2010)。温度是影响中药材产量与品质的重要环境因素,温度胁迫对药用植物的生理生化特性及有效成分积累有显著影响(石进校等,2002;许桂芳等,2006;薛建平等,2007;艾娟等,2010)。本研究利用人工气候箱模拟温度胁迫,分析不同温度条件对七叶一枝花光合特性及皂苷、氨基酸等有效成分含量的影响,确定适宜其生长的温度范围,为七叶一枝花的栽培提供理论依据和实践指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与处理

2013年5月初将七叶一枝花栽入到上口口径21 cm,下口径14 cm,高19 cm的花盆中(每盆栽一株,盆内均为壤土)。6月初选取长势均一的植株15盆,并随机分为3组(每组5盆),分别放入三个人工气候箱(上海银泽仪器设备有限公司生产的RXZ-500D型)内。气候箱温度分别设定为低温10°C/

16°C(12h夜/12h昼)、适温18°C/24°C(12h夜/12h昼)、高温26°C/32°C(12h夜/12h昼),空气相对湿度为75%。每天6:00-18:00补充光强为500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的人工光照(前期实验数据),其余时间关闭光源。用稀释的营养液补充水分,保持土壤含水量20%~30%。连续处理60 d。

1.2 叶绿素含量测定

采用Arnon的方法(Arnon,1949),随机选取各处理组新鲜的叶片,用95%乙醇提取、紫外可见分光光度计(DU-800,USA)测定叶绿素含量,每个处理重复3次,取平均值。

1.3 光合特性测定

处理60 d后,用LI-6400便携式光合测定系统(LI-COR,USA)测定七叶一枝花叶片光合-光强曲线(Pn-PAR)。光强分别为0、20、50、100、200、300、500、700、1 000、1 200、1 400、1 600、2 000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光源由仪器配备的红蓝光源(6400-02B LED光源)产生,CO₂浓度采用室内自然条件(570 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)。测定时每一光强下停留3 min,每个处理重复3次。以光量子通量密度为横轴,净光合速率为纵轴绘制光响应曲线。根据Pn-PAR曲线的初始斜率(PAR<250 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)计算表观量子效率,依据Bassman & Zwier(1991)的方法计算光饱和点、光补偿点、最大净光合速率等。

选择上午9:00-11:00测定不同温度处理下七叶一枝花叶片的瞬时光合特性(培养箱内光照强度500 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),包括瞬时净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO₂浓度等生理指标。每个处理均进行3次重复,取平均值。

1.4 有效成分含量测定

香草醛-高氯酸与皂苷反应后呈红色,是最常用的皂苷显色法(杨骁和张振秋,2007;吴芬等,2006)。用该方法测定七叶一枝花根茎中总皂苷含量,其标准曲线方程为 $Y=0.0002X-0.0038$,式中 X 为皂苷含量($\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$), Y 为样品在560 nm吸光值

(梁娟等,2014)。每处理重复3次,取平均值。

采用茚三酮显色法测定七叶一枝花根茎中氨基酸含量,其标准曲线方程为 $Y=0.0024X-0.2347$,其中 X 为氨基酸含量($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), Y 为样品在 570 nm 的吸光值。每个处理重复测定3次,取平均值。

1.5 数据分析

数据分析和图标绘制采用 SPSS13.0、Excel 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 叶绿素含量比较

不同温度处理下,七叶一枝花叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)及叶绿素总量(Chl a+b)差异显著(表1)。适温条件下,叶绿素 a、b 含量均最高,分别为 1.45 和 0.65 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW,含量最低的为高温处理,其总叶绿素含量总量只有适温处理的 62.38%。叶绿素 a/b 从大到小依次为低温>适温>高温。

表 1 不同温度处理下七叶一枝花光合色素含量比较

Table 1 Comparison of photosynthetic pigment contents of *Paris polyphylla* under different temperatures

温度处理 Temperature treatment	叶绿素 a 含量 Content of Chl a ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	叶绿素 b 含量 Content of Chl b ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	叶绿素 a/b Chl a/b	总叶绿素 含量 Content of total Chlorophyll ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)
10°C/16°C	1.29± 0.03b	0.42± 0.05b	3.13± 0.44a	1.70± 0.03b
18°C/24°C	1.45± 0.07a	0.65± 0.09a	2.29± 0.44b	2.10± 0.03a
26°C/32°C	0.89± 0.06c	0.42± 0.02b	2.10± 0.09c	1.31± 0.07c

注: 同列不同小写字母表示 5% 水平下差异显著,下同。

Note: Different letters in the same columns indicate significant differences at 5% level, the same below.

2.2 光合特性比较

不同温度处理下七叶一枝花叶片光合对光强的响应趋势基本一致(图1),但适温处理植株光饱和点、最大光合速率、表观量子效率显著高于低温处理与高温处理,而暗呼吸速率、光补偿点则低于两者(表2)。高温、低温处理下,光补偿点增加、光饱和点下降,有效光照范围变窄,即温度胁迫降低了植物对光强的适应范围,导致光合速率降低。这说明温度对七叶一枝花叶片光合作用影响显著,低温或高温均不利于其光合作用。

不同温度处理下,七叶一枝花叶片瞬时光合特

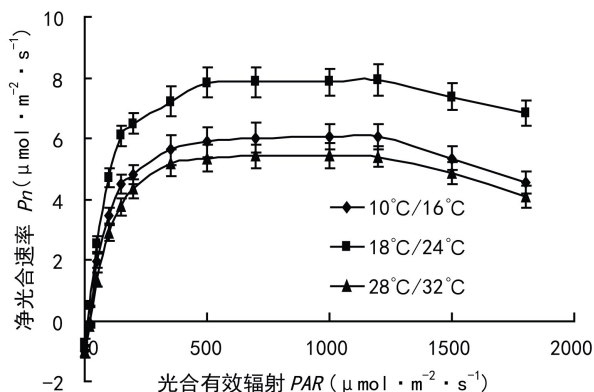


图 1 不同温度处理下七叶一枝花光响应曲线比较

Fig. 1 Comparison of light response curves of *Paris polyphylla* under different temperatures

性差异显著。适温处理下瞬时净光合速率最大(图2: A),而蒸腾速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度在高温下最大(图2: B, C, D),低温下最小。即随着外界温度的升高,气孔导度明显增加,胞间二氧化碳浓度升高,蒸腾速率增加。

2.3 根茎有效成分积累

不同温度处理下,根茎体内皂苷含量差异较显著(图3)。适温处理皂苷含量最大,为 4.33%,低温和高温处理皂苷含量分别为适温的 42.26% 和 33.49%。不同温度处理下,根茎体内氨基酸含量变化与皂苷变化一致(图4),表现为适温处理氨基酸含量最大。可见,温度对七叶一枝花皂苷、氨基酸含量影响较大,温度过高或过低都不利于其主要有效成分的积累。

2.4 相关性分析

不同温度处理下,七叶一枝花根茎体内皂苷含量、氨基酸含量与叶片叶绿素含量、光合速率呈显著正相关,与呼吸速率呈显著负相关。这说明低温、高温处理下七叶一枝花体内皂苷、氨基酸等有效成分含量较适温条件下低与光合作用有很大关系。

4 讨论与结论

4.1 不同温度处理对七叶一枝花叶片光合特性的影响

叶绿素的合成受温度影响很大,其形成的最适温度为 20~30 °C,温度过高或过低均会降低其合成速率,并破坏原有叶绿素(唐仕云等,2012;宰学明等,2007)。低温、高温处理下七叶一枝花叶片 Chl a、Chl b、Chl a+b 含量显著低于适温处理。从盆栽

表 2 不同温度处理下七叶一枝花光合参数比较

Table 2 Comparison of photosynthetic parameters of *Paris polyphylla* under different temperatures

温度处理 Temperature treatment	最大光合速率 A_{\max} ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点 LSP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点 LCP ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	暗呼吸速率 Rd ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	表观量子效率 AQY
10°C/16°C	6.06±0.78b	434.8±47b	14.4±2.1b	-1.01±0.12b	0.065±0.01a
18°C/24°C	7.92±0.92a	493.6±53a	10.8±1.7c	-0.78±0.10a	0.079±0.02a
26°C/32°C	5.42±0.85b	421.2±43b	18.0±2.5a	-1.02±0.13b	0.053±0.01a

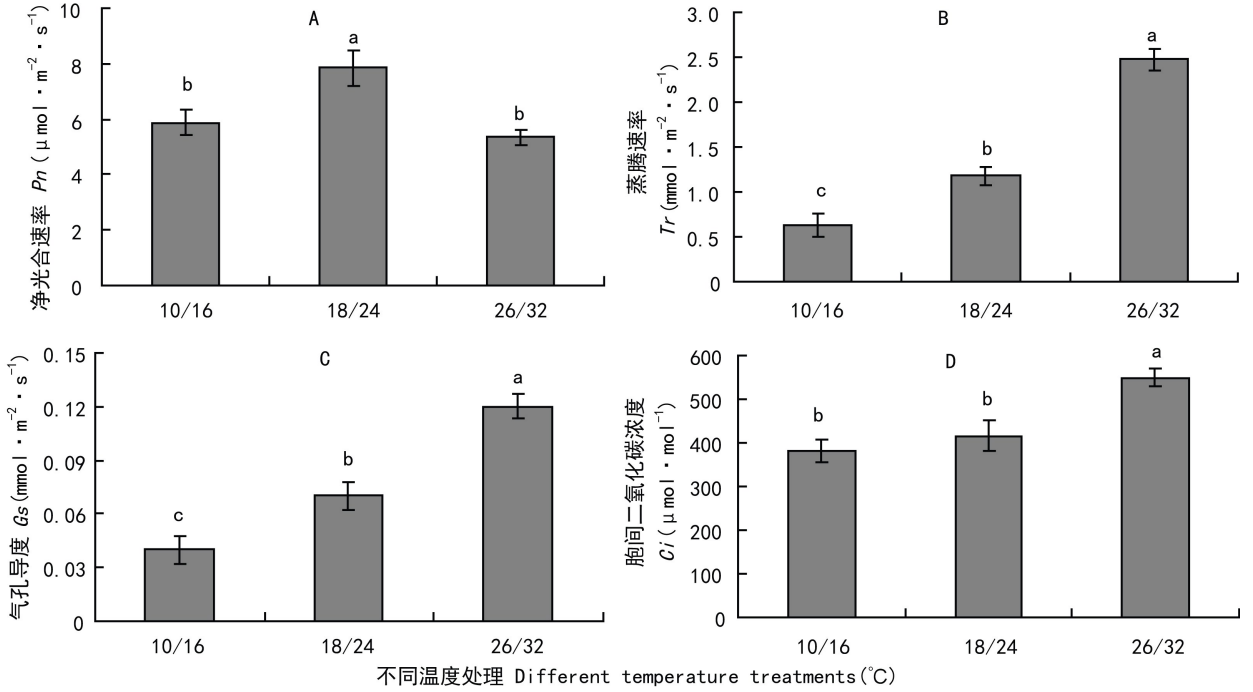


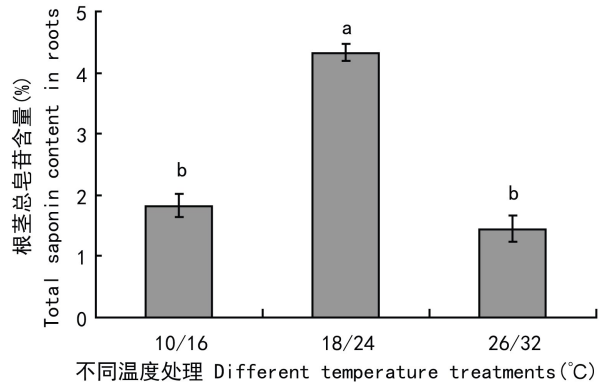
图 2 不同温度处理下七叶一枝花瞬时光合特性比较

Fig. 2 Comparison of instantaneous photosynthetic characteristics of *Paris polyphylla* under different temperatures

表 3 七叶一枝花有效成分含量与叶绿素含量、光合速率、蒸腾速率、呼吸速率相关分析

Table 3 Correlation analysis between active ingredients and chlorophyll content, photosynthesis rate, transpiration rate and respiration rate

有效成分 Active ingredients	叶绿素含量 Content of Chl ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	光合速率 P_n ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Tr ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	呼吸速率 Rd ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
皂苷 Total saponin (%)	0.923 *	0.993 * *	-0.344	-0.996 * *
氨基酸 Amino acid (%)	0.994 * *	0.986 * *	-0.596	-0.932 *

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$.图 3 不同温度处理下七叶一枝花根茎体内总皂苷含量比较
Fig. 3 Comparison of total saponin contents in roots of *Paris polyphylla* under different temperatures

试验七叶一枝花的生长状况也可以看出, 适温条件下七叶一枝花叶色碧绿且有光泽, 而高温和低温条件下, 随着温度胁迫时间的延长, 叶片逐渐变黄, 尤其是高温处理变化更明显。因此, 温度过高或过低均不利于七叶一枝花叶绿素的形成。

与叶绿素变化规律一致, 适温条件下, 七叶一枝花的最大光合速率、光饱和点、表观量子效率均要高于低温与高温处理。说明七叶一枝花适宜生长在温

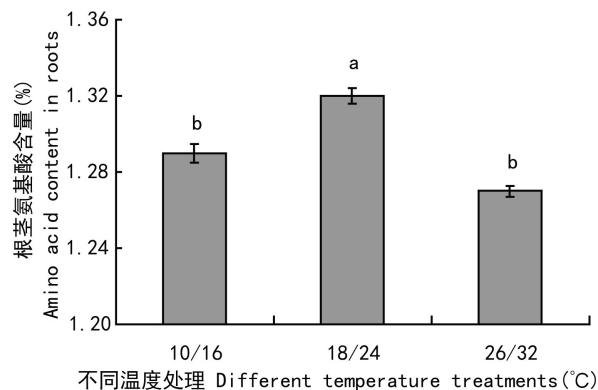


图4 不同温度处理下七叶一枝花根茎体内氨基酸含量比较

Fig. 4 Comparison of amino acid contents in roots of *Paris polyphylla* under different temperatures

度适中的环境中,温度过高或过低均不利于其光合作用。导致不同温度下七叶一枝花光合特性差异一方面与植株叶绿素含量有关,在一定范围内,叶绿素含量与植物光合作用之间是正相关关系(刘贞琦等,1984)。高温、低温条件下七叶一枝花叶绿素含量较低,这是导致植株叶片光合速率较低的重要原因。另一方面,低温条件下植株光合速率较适温低与气孔因素引起的 CO_2 供应能力的降低有关,而高温条件下植株气孔导度最大,其光合速率较低可能与非气孔因素有关。可能是高温胁迫下,光系统II无法正常行使功能,导致叶绿体对光能的吸收和利用受阻,同时温度胁迫可能使暗反应相关酶的活性降低,从而导致光合速率降低(莫亿伟等,2011;张其德,1989;Braun et al,2002;Perera et al,1995)。

4.2 不同温度处理对七叶一枝花根茎有效成分含量的影响

温度对药用植物的光合作用、呼吸作用等生理功能有直接影响,进而影响到其体内有效成分的形成和积累(陶曙红等,2003)。适宜温度下,较高的光合能力有利于光合产物即初生代谢物的形成,以及某些次生代谢产物的积累(赵德修等,1998;丑敏霞等,2001)。本研究表明七叶一枝花根茎体内皂苷含量、氨基酸含量均在适温条件下最高,两者均与叶片叶绿素含量、光合速率呈显著正相关,而与呼吸速率呈显著负相关。温度胁迫下,植株叶绿素含量低,光合速率低,所产生的光合产物少,因而有效成分积累较少,而适温条件下七叶一枝花光合作用的产物除了用于营养生长来增加生物量外,还能用于合成次生代谢物,因此皂苷的积累较多。另外,温度

胁迫导致植株呼吸速率加剧,以及部分光合产物被消耗,同样影响了有效成分皂苷的积累。

一定的环境胁迫可能有利于药用植物次生代谢有效成分的积累,如高温有利于生物碱、蛋白质等含氮物质的合成(黄璐琦等,2007)。本实验的结果并没有体现出温度胁迫能提高有效成分,这说明不同的植物对环境胁迫的响应不一。

综上所述,温度过高或过低均不利于七叶一枝花的光合作用,不利于植株地上部分的生长以及根茎体内有效成分的积累,七叶一枝花适宜生长在平均温度 $22\text{ }^\circ\text{C}$ 左右的环境中。

参考文献:

- AI J, YAN N, HU H, et al, 2010. Effects of temperature on the growth and physiological characteristics of *Dendrobium officinale* (Orchidaceae) [J]. Acta Bot Yunnan, 32(5):420-426. [艾娟, 严宁, 胡虹, 等, 2010. 温度对铁皮石斛生长及生理特性的影响 [J]. 云南植物研究, 32(5):420-426.]
- ARNON DI, 1949. Copper enzymes in chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiol, 24:1-15.
- BASSMAN J, ZWIER JC, 1991. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoids* clones [J]. Tree Physiol, 8:145-149.
- BIAN HR, LI XN, WANG HJ, 2002. Research and application progress of *Rhizoma paridis* [J]. Chin Med Mat, 25(3):218-220. [边洪荣, 李小娜, 王会教, 2002. 重楼的研究及应用进展 [J]. 中药材, 25(3):218-220.]
- BRAUN V, BUCHNER O, NEUNER G, 2002. Thermotolerance of photosynthesis of three alpine plant species under field conditions [J]. Photosynthetica, 40(4):587-595.
- HUANG LQ, GUO LP, 2007. Secondary metabolites accumulating and geherbs formation under environmental stress [J]. Chin J Chin Mat Med, 32(4):277-280. [黄璐琦, 郭兰萍, 2007. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成 [J]. 中国中药杂志, 32(4):277-280.]
- LIANG J, GUO ZY, YE Y, 2014. Effects of different soil moisture conditions on photosynthetic characteristics and effective content of saponin of *Paris polyphylla* [J]. Plant Physiol J, 50(1):56-60. [梁娟, 郭泽宇, 叶漪, 2014. 不同土壤水分条件对七叶一枝花光合特性及有效成分皂苷含量的影响 [J]. 植物生理学报, 50(1):56-60.]
- LIU ZQ, LIU ZY, MA DP, et al, 1984. A study on the relation between chlorophyll content and photosynthetic rate of rice [J]. Acta Agron Sin, 10(1):57-62. [刘贞琦, 刘振业, 马达鹏, 等, 1984. 水稻叶绿素含量及其光合速率关系的研究 [J]. 作物学报, 10(1):57-62.]
- MO YW, GUO ZF, XIE JH, 2011. Effects of temperature stress on chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic rates of *Stylosanthes guianensis* [J]. Acta Prat Sin, 20(1):96-101. [莫亿伟, 郭振飞, 谢江辉, 2011. 温度胁迫对柱花草叶绿素荧光参数和光合速率的影响 [J]. 草业学报, 20(1):96-101.]
- PERERA NH, HARTMANN E, HOLADAY AS, 1995. Regulation of cotton photosynthesis during moderate chilling [J]. Plant Sci, 111(2):133-143.

- QIU MX, ZHU LQ, ZHANG M, et al, 2001. Physiological reactions of *Dendrobium nobile* to temperature [J]. *Chin Pharm J*, 36(3): 153-155. [丑敏霞, 朱利泉, 张明, 等, 2001. 金叉石斛对温度的生理反应 [J]. *中国药理学杂志*, 36(3): 153-155.]
- SHI JX, ZHAO FY, LIU YD, et al, 2002. Activity of POD, SOD and content of MDA of *Epimedium sagittatum Maxim* under temperature stress [J]. *Life Sci Res*, 6(2): 160-162. [石进校, 赵福永, 刘应迪, 等, 2002. 温度胁迫下淫羊藿的脂膜过氧化和保护酶活性 [J]. *生命科学研究*, 6(2): 160-162.]
- TANG SY, YANG LT, LI YR, 2012. Correlation between changes of photosynthetic characteristics of different sugarcane varieties and their cold tolerance under low temperature [J]. *Guihaia*, 32(5): 679-685. [唐仕云, 杨丽涛, 李杨瑞, 2012. 低温胁迫下不同甘蔗品种(系)光合特性的变化及其与耐寒性的关系 [J]. *广西植物*, 32(5): 679-685.]
- TAO SH, WU FE, 2003. Effect of ecological environment on active constituents of medicinal plants [J]. *Nat Prod Res Dev*, 15(2): 174-177. [陶曙红, 吴风镗, 2003. 生态环境对药用植物有效成分的影响 [J]. *天然产物研究与开发*, 15(2): 174-177.]
- TIAN QJ, CHEN GX, LIU B, 2010. Morphological characters and phenophase of cultivated *Paris polyphylla* [J]. *Hunan Agric Sci*, 13: 18-20. [田启建, 陈功锡, 刘冰, 2010. 人工栽培七叶一枝花的生物学特征及物候期研究 [J]. *湖南农业科学*, 13: 18-20.]
- WU F, ZHAO DY, SHI XM, 2006. Colorimetric determination of alfalfa saponins based on their aglycone moieties [J]. *J Shanghai Jiaotong Univ: Agric Sci Ed*, 24(3): 226-229. [吴芬, 赵大云, 史贤明, 2006. 利用皂苷元特征显色测定苜蓿皂苷含量的快速检测方法 [J]. *上海交通大学学报·农业科学版*, 24(3): 226-229.]
- XU GF, WU TM, XIANG ZX, et al, 2006. Effect of low-temperature stress on physiological reaction of *Lysimachia christinae* [J]. *Acta Hunan Agric Univ: Nat Sci Ed*, 32(3): 280-282. [许桂芳, 吴铁明, 向佐湘, 等, 2006. 过路黄对低温胁迫的生理反应 [J]. *湖南农业大学学报·自然科学版*, 32(3): 280-282.]
- XUE JP, ZHANG AM, YANG J, et al, 2007. Change of endogenous hormone around sprout tumble of *Pinellia ternata* under high temperature stress [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 32(23): 2 489-2 491. [薛建平, 张爱民, 杨建, 等, 2007. 高温胁迫下半夏倒苗前后内源激素的变化 [J]. *中国中药杂志*, 32(23): 2 489-2 491.]
- YANG X, ZHANG ZQ, 2007. Contents determination of total saponin of *Paridis* [J]. *Chin Arch Trad Chin med*, 25(11): 2 420-2 422. [杨骁, 张振秋, 2007. 重楼中总皂苷的含量测定 [J]. *中华中医药学刊*, 25(11): 2 420-2 422.]
- ZAI XM, QIN P, WU GR, et al, 2007. Effects of high temperature stress on photosynthesis rate, contents of chlorophyll, Ca^{2+} -ATPase, Mg^{2+} -ATPase in chloroplast and Ca^{2+} distribution in peanut seedlings [J]. *Bull Bot Res*, 27(4): 416-420. [宰学明, 钦佩, 吴国荣, 等, 2007. 高温胁迫对花生幼苗光合速率、叶绿素含量、叶绿体 Ca^{2+} -ATPase、 Mg^{2+} -ATPase 及 Ca^{2+} 分布的影响 [J]. *植物研究*, 27(4): 416-420.]
- ZHANG M, LI YW, LI ZY, 2011. Progress on studies of endangered ethno-medicine of rhizoma *Paridis* [J]. *J MUC: Nat Sci Ed*, 20(4): 65-69. [张嫚, 李彦文, 李志勇, 2011. 重楼属药用植物的研究进展 [J]. *中央民族大学学报·自然科学版*, 20(4): 65-69.]
- ZHANG QD, 1989. Effects of temperature on plant photosynthesis [J]. *Plant J*, 3: 28-30. [张其德, 1989. 温度对植物光合作用的影响 [J]. *植物杂志*, 3: 28-30.]
- ZHAO DX, WANG Q, ZHAO JF, 1998. Effect of physical and chemical factors on callus growth and flavonoids biosynthesis in the callus cultures of *Saussurea medusa* [J]. *Chin J Biotechnol*, 14(3): 259-264. [赵德修, 汪沂, 赵敬芳, 1998. 不同理化因子对雪莲培养细胞中黄酮类形成的影响 [J]. *生物工程学报*, 14(3): 259-264.]

(上接第 372 页 Continue from page 372)

- REN J, XUE XY, ZHANG FF, et al, 2006. Analysis of volatile oils of caulis sinomenii by Chromatography-mass spectrometry [J]. *World Sci Technol/Mod Trad Chin Med Mat Med*, 8(3): 21-22. [任洁, 薛兴亚, 章飞芳, 等, 2006. 气相色谱-质谱联用分析青风藤挥发油中化学成分 [J]. *世界科学技术-中医药现代化*, 8(3): 21-22.]
- RONG H, HONG W, WU CZ, et al, 2011. Effects of simulated nitrogen deposition on leaf area formation *Curcuma aromatic* "Wenyujin" during the stage of leaf growth [J]. *J Fujian Coll For*, 31(1): 13-17. [荣海, 洪伟, 吴承祯, 等, 2011. 模拟氮沉降对温郁金叶丛期叶面积形成的影响 [J]. *福建林学院学报*, 31(1): 13-17.]
- SUN BH, HU ZY, LÜ JL, et al, 2006. The leaching solution chemistry of a broad-leaved forest red soil under simulated N deposition in Southern China [J]. *Acta Ecol Sin*, 26(6): 1 873-1 881. [孙本华, 胡正义, 吕家珑, 等, 2006. 大气氮沉降对阔叶林红壤淋溶水化学模拟研究 [J]. *生态学报*, 26(6): 1 873-1 881.]
- WANG Q, QI ML, FU RN, 2009. Analysis of volatile compounds in *Magnolia biondii* Pamp by SPME-GC-MS [J]. *World Sci Technol/Mod Trad Chin Med Mat Med*, 11(1): 168-172. [王琦, 齐美玲, 傅若农, 2009. 固相微萃取气质联用测定中药辛夷挥发性成分 [J]. *世界科学技术-中医药现代化*, 11(1): 168-172.]
- WANG TJ, LIU Q, ZHAO H, et al, 2008. Atmospheric nitrogen I deposition in agroecosystem in red soil region of Jiangxi Province [J]. *Acta Pedol Sin*, 45(2): 118-127. [王体健, 刘倩, 赵恒, 等, 2008. 江西红壤地区农田生态系统大气氮沉降通量的研究 [J]. *土壤学报*, 45(2): 118-127.]
- XUE JH, MO JM, LI J, et al, 2005. Effects of nitrogen deposition on soil microorganism [J]. *Ecol Environ*, 14(5): 777-782. [薛璟花, 莫江明, 李炯, et al, 2005. 氮沉降增加对土壤生物的影响 [J]. *生态环境*, 14(5): 777-782.]
- ZHANG W, MO JM, FANG YT, et al, 2008. Effects of nitrogen deposition greenhouse gas fluxes from forest soils [J]. *Acta Ecol Sin*, 28(5): 2 309-2 319. [张炜, 莫江明, 方运霆, 等, 2008. 氮沉降对森林土壤主要温室气体通量的影响 [J]. *生态学报*, 28(5): 2 309-2 319.]
- ZHANG WN, LIAO ZY, 2009. Research of impacts on forestry by nitrogen deposition [J]. *Environ Sci Surv*, 28(3): 21-24. [张维娜, 廖周瑜, 2009. 氮沉降增加对森林植物影响的研究进展 [J]. *环境科学导刊*, 28(3): 21-24.]
- ZHANG Y, LIU XJ, ZHANG FS, et al, 2006. Spatial and temporal variation of atmospheric nitrogen deposition in North China Plain [J]. *Acta Ecol Sin*, 26(6): 1 634-1 639. [张颖, 刘学军, 张福锁, 等, 2006. 华北平原大气氮素沉降的时空变异 [J]. *生态学报*, 26(6): 1 634-1 639.]